مروری بر خواص مکانیکی کامپوزیتهای زمینه پلیمری هیبرید کنف-شیشه/پلی‌استر

مهدی امامی قره‌حاجلو*[1]، شهرام شاه‌بابائی[2]، فرزانه استوار[3]

کامپوزیت‌های پلیمری که دارای الیاف تقویت‌کننده هستند، به علت خصوصیات کششی مناسب و نسبت استحکام به وزن بالا (در جهات خاص) بسیار مورد توجه قرار دارند. امکان قالب‌گیری ساده و آسان، مقاومت شیمیایی، خواص فیزیکی و مکانیکی مورد تأیید در جهات مختلف، اتصال مناسب بستر به الیاف و همچنین امکان استفاده در محدوده وسیعی از کاربردها، این گروه ازکامپوزیت‌ها را به عنوان گروهی رایج مطرح ساخته است. با این وجود، مشخص شدن برخی خطرات زیست محیطی ناشی از استفاده از الیاف معدنی در کامپوزیت‌ها (که در گذشته به عنوان رایج‌ترین نوع الیاف مورد استفاده در ساخت کامپوزیت‌های پلیمری مطرح بودند)، محققان را بر آن داشت تا امکان استفاده از انواع الیاف طبیعی و تجدیدپذیر را در ساخت کامپوزیت‌های پلیمری و همچنین تأثیر استفاده از این الیاف را بر خواص مکانیکی، مورد بررسی قرار دهند. در این تحقیق، خصوصیات کامپوزیت‌های پلیمری مقاوم شده با الیاف کنف به همراه الیاف شیشه و پلی‌استر، مورد بررسی قرار گرفت. فاز تقویت‌کننده به دو صورت پارچه هیبریدی و همچنین لایه‌ای تک‌جهته درون بستر (ماتریس) پلیمری قرار داده شد و در نهایت برای بررسی خصوصیات مکانیکی نمونه‌ها، آزمایش‌های کشش و خمش بر روی آن‌ها انجام گرفت. نتایج نشان داد که نمونه با مقاوم‌ساز الیافی کنف-شیشه که به صورت لایه‌ای تک‌جهته در بستر قرار داده شده، بهترین خصوصیات مکانیکی را از خود بروز می‌دهد. همچنین مشخص شد در شرایط یکسان، استحکام الیاف مورد استفاده نسبت به نحوه قرارگیری آنها در بستر، نقش پررنگ‌تری در تعیین خواص مکانیکی کامپوزیت دارد.

۱- مقدمه

در کاربردهای روزمره، اغلب به جزئیات خواص مواد نیاز است. در صنایع هوافضا، کاربردهای دریایی، حمل و نقل و امثال آنها، امکان استفاده از یک نوع ماده که همه خواص مورد نظر را فراهم نماید، وجود ندارد. به عنوان مثال در صنایع هوافضا به موادی نیاز است که ضمن داشتن استحکام بالا، سبک بوده و دارای مقاومت سایشی مناسبی نیز باشند و همچنین در برابر اشعه فرابنفش مقاومت کنند. از آنجا که نمی‌توان ماده‌ای یافت که همه خواص مورد نظر را دارا باشد، باید به دنبال چاره‌ای دیگر بود. کلید این مشکل، استفاده از کامپوزیت‌ها است. کامپوزیتها موادی چند جزئی هستند که خواص آنها در مجموع از هرکدام از اجزاء بهتر است.ضمن آنکه اجزای مختلف، کارایی یکدیگر را بهبود می‌بخشند [۱].

در کامپوزیتهای پلیمری حداقل دو جزء مشاهده می‌شود که عبارتند از:

۱- فاز تقویت کننده یا مقاوم‌ساز

۲- فاز بستر(ماتریس) که فاز دیگر را در بر می‌گیرد و معمولاً یک ماده پلیمری گرماسخت یا گرمانرم است که گاهی قبل از سخت شدن آن‌را رزین می‌نامند [۲].

مواد مرکب (کامپوزیت‌ها) از دیدگاه‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند. معمول‌ترین انواع دسته بندی، بر اساس نوع بستر و همچنین بر اساس شکل فاز مقاوم‌ساز انجام می‌گیرد. از دیدگاه نوع و جنس بستر، کامپوزیت‌ها به سه دسته کامپوزیت‌های با بستر فلزی، کامپوزیت‌های با بستر سرامیکی و کامپوزیت‌های بستر پلیمری تقسیم می‌شوند. [۱و۲].

الیافی که در صنعت کامپوزیت استفاده می‌شوند به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱- الیاف مصنوعی ۲- الیاف طبیعی [۳و۴]

کاربرد کامپوزیت‌های پلیمری توسط خواص اجزاء آنها تعیین می‌شود که اغلب آنها دارای الیافی با مدول بالا هستند و در بستر پلیمری قرار داده شده‌اند و فصل مشترک خوبی بین دو جزء الیاف و بستر پلیمری وجود دارد. بستر پلیمری دومین جزء عمده کامپوزیت‌های پلیمری است. این بخش عملکردهای بسیار مهمی در کامپوزیت دارد. اولاً به عنوان یک چسب ، الیاف تقویت کننده را نگه می‌دارد و ثانیاً تحت نیروی اعمالی تغییر شکل داده و تنش را به الیاف منتقل می‌کند. علاوه بر آن، رفتار پلاستیک بستر پلیمری، انرژی را جذب کرده و کاهش تمرکز

تنش را در پی دارد که در نتیجه آن، رفتار چقرمگی شکست را بهبود می‌بخشد. تقویت کننده‌ها معمولاً شکننده هستند و رفتار پلاستیک بستر می‌تواند موجب تغییر مسیر ترک‌های موازی با الیاف شده و از شکست الیاف واقع در یک صفحه، جلوگیری کند [۴-۱].

۲- انواع الیاف مورد استفاده در کامپوزیت‌های بستر پلیمری

۲-۱- الیاف شیشه

الیاف شیشه مشهورترین تقویت کننده مورد استفاده در صنعت کامپوزیت است و انواع مختلفی از آن به صورت تجاری وجود دارند که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: الیاف شیشه نوع E، الیاف شیشه نوع S، نوع ECR و الیاف شیشه نوع AR. ترکیب شیمیایی این الیاف با هم متفاوت است و انتخاب هر یک از این انواع، بر اساس کاربرد صورت می‌گیرد [۳و۶].

۲-۲- الیاف کربن

اگرچه اکثر الیاف مورد استفاده در صنعت کامپوزیت از جنس شیشه هستند، ولی مدول آن نسبتاً پایین است. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی انجام گرفته است تا تقویت‌کننده‌های جدیدی با تبدیل حرارتی الیاف آلی به الیاف کربن ساخته شود. الیاف حاصل به سرعت کاربرد وسیعی در کامپوزیت‌های بستر فنولیکی به منظور استفاده در عایق‌های ضد ضربه صنایع نظامی پیدا کرد. مشخصه الیاف کربن سبکی، استحکام و سفتی بالا است. الیاف کربن از تجزیه حرارتی الیاف آلی در یک محیط خنثی بدست می‌آیند [۶].

۲-۳- الیاف آرامید

الیاف آرامید که در حدود سال‌های ۱۹۷۰معرفی شد، ترکیب آلی حلقوی از کربن، هیدروژن، اکسیژن و نیتروژن است که دانسیته کم و استحکام کششی بالا در این الیاف، موجب تشکیل یک ساختار چقرمه و مقاوم در برابر ضربه با سفتی حدود نصف الیاف کربن، گردید. الیاف آرامید در ابتدا به منظور جایگزینی فولاد در تایرهای رادیال ساخته شدند که بعدها کاربردهای دیگری پیدا کردند. جلیقه ضد گلوله از موفقیت‌آمیزترین کاربردهای الیاف آرامید است. نام های تجاری مختلفی برای الیاف آرامیدی انتخاب شده است. شرکت دوپونت نام‌های کولار و نومکس را برای این الیاف انتخاب کرده است [۷]. در جدول ۱ خصوصیات مکانیکی برخی انواع مختلف الیاف مورد استفاده در کامپوزیت‌های بستر پلیمری با هم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند [۳].

جدول ۱- خصوصیات مکانیکی برخی انواع الیاف مورد استفاده در ساخت کامپوزیت‌های بستر پلیمری [۳]

الیاف	استحکام (MPa)	مدول الاستیک (GPa)	چگالی (g/m^3)
E-Glass	۳۴۴۵	۸۱/۸	۲/۶۲
S-Glass	۴۵۸۵	۸۸/۹	۲/۵۰
کربنAS4	۴۰۰۰	۲۴۱	۱/۷۷
کربن IM6	۴۳۸۰	۲۷۶	۱/۷۷
کولار 29	۳۶۰۰	۸۳	۱/۴۴
کولار 49	۴۰۰۰	۱۳۱	۱/۴۵
کولار 149	۳۴۰۰	۱۸۶	۱/۴۷

۲-۴- الیاف طبیعی

الیافی که از منابع طبیعی مانند معادن، حیوانات و گیاهان بدست می‌آیند، در گروه الیاف طبیعی قرار می‌گیرند. مصریان باستان از کامپوزیت‌های الیاف طبیعی آجر، ظروف سفالی و قایقهای کوچک می‌ساختند. یک قرن پیش، تقریباً تمام وسایل و بسیاری از محصولات فنی از الیاف طبیعی ساخته می‌شد. پارچه، طناب، کرباس و کاغذ از الیاف طبیعی مانند کتان، شاهدانه، سیسال و کنف ساخته می‌شوند. الیاف طبیعی را می‌توان بر اساس منشأ آن‌ها به سه دسته معدنی، حیوانی و گیاهی تقسیم نمود [۸ و ۹].

۳- رزین‌های مورد استفاده در ساخت کامپوزیت‌های بستر پلیمری

۳-۱- رزین‌های سنتتیک

رزین‌پلی‌استر، رزین‌های اپوکسی، رزین‌های وینیل‌استر، رزین‌های فنولیک، پلی ایمیدها، پلی اتر اتر کتون و ... .

۳-۲- رزین‌های طبیعی

بدلیل نگرانی‌های زیست محیطی و امکان پایان ذخایر نفتی، اخیراً ساخت کامپوزیت‌های با زمینه رزین‌های طبیعی از منابع تجدیدپذیر، اهمیت یافته است که این موضوع به کم کردن وابستگی صنایع کامپوزیت به مشتقات نفتی کمک شایانی کرده است. از این رو، محققین علاقه زیادی به تحقیق و توسعه پلیمرهای حاصل از منابع تجدیدپذیر کشاورزی به جای هیدروکربن‌ها دارند. اخیراً تلاش‌هایی برای استفاده از روغن سویا برای تولید کامپوزیت‌های زیست تخریب پذیر، ارزان و سبک انجام گرفته است. خواص رزین‌هایی بر پایه روغن سویا می‌تواند توسط تغییرات ژنتیکی تغییر یابد که این امر توسط برخی شرکت‌های صنعتی در حال انجام است. امروزه با کاربرد الیاف کنف، کتان، سیسال و سایر الیاف طبیعی با رزین‌های طبیعی، امکان ساخت کامپوزیت‌های کاملاً زیست تخریب‌پذیر وجود دارد [۱۰].

۴- کامپوزیت‌های زمینه پلیمری با الیاف طبیعی

عدم امکان بازیافت و قیمت بالا، همواره به عنوان دو معضل عمده گسترش کامپوزیت‌های پلیمری در دنیا مطرح بوده است. اما امروزه استفاده از الیاف طبیعی در ساخت کامپوزیت‌ها نویدبخش افق روشنی

برای صنعت کامپوزیت است. این الیاف به راحتی به چرخه طبیعت برمی‌گردند و از قیمت بسیار پایین‌تری برخوردار هستند.کامپوزیت‌های مقاوم شده با الیاف طبیعی مصرفی در قطعات خودروها علاوه بر داشتن خواص مکانیکی مناسب، از رفتار شکست بسیار خوبی نیز برخوردار هستند. این کامپوزیت‌ها به صورت غیرناگهانی و تدریجی می‌شکنند و همچنین در حین تصادفات، با استفاده از این الیاف امکان ایجاد لبه‌های تیز و برنده که منجر به صدمه زدن به سرنشینان خودرو می‌شود، کاهش می‌یابد.

٤-١- مزایا و محدودیت‌های استفاده از الیاف طبیعی در کامپوزیت‌های زمینه پلیمری

کامپوزیت‌های زمینه پلیمری تقویت شده با الیاف طبیعی، دارای مزایای متعددی هستند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

منابع تجدید شونده (نامحدود)، وزن و چگالی کم، کاهش فرسایش ابزار ساخت، زیست تخریب پذیری، قیمت پایین، نداشتن مضرات شیمیایی در شرایط کار، بهبود بازگشت انرژی، فواید محیطی ناشی از ایجاد تعادل در تولید و مصرف گاز CO_2.

با این وجود، یکی از معایب الیاف طبیعی، دمای پائین در فراوری این الیاف است (۲۰ درجه سانتیگراد) که این مسئله بخاطر تخریب حرارتی و یا خروج گازهای فرار از مواد لیگنوسلولزی است که می‌تواند روی خواص الیاف اثر بگذارد. دیگر محدودیت الیاف طبیعی، جذب رطوبت بالای آنها است. جذب رطوبت توسط این الیاف باعث کشیدگی الیاف می‌شود که خود برهم‌زننده ثبات ابعادی کامپوزیت خواهد بود [۷و۱۰].

٤-٢- ناسازگاری الیاف طبیعی و پلیمر

یکی از معایب عمده الیاف گیاهی، سازگاری کم آنها با بسترهای پلیمری و چسبندگی پایین آنها به بستر است که منجر به افت خواص مکانیکی می‌شود. ساختار و خواص سطح مشترک بین پرکننده و پلیمر، نقش عمده‌ای در تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مادهٔ مرکب حاصل ایفا می‌کند. سطوح پرکننده می‌توانند به شدت متغیر باشند و در نتیجه اثر متقابل با بستر پلیمر را به شدت تغییر دهند [۱۱و۱۴].

٤-٣- اصلاحات با روش‌های فیزیکی

در این روش‌ها سطح الیاف مورد اصلاحات فیزیکی قرار می‌گیرد. تخلیه الکتریکی ، پلاسما و کورونا مهم‌ترین روش‌های اصلاح فیزیکی هستند. در این عملیات با تغییر دادن بر روی ساختار و خواص سطح الیاف موجبات بالا رفتن سازگاری میان پلیمر و الیاف فراهم می‌گردد [۱۲و۱۳].

٤-٤- اصلاحات با روش‌های شیمیایی

در این مورد از روش‌هایی مانند قلیایی کردن و استفاده از عامل‌های جفت کننده استفاده می‌شود. روش قلیایی که شیوه‌ای موثر در اصلاح سطح الیاف است و هزینه پایینی دارد. همچنین این روش واکنش پذیری سلولز نسبت به مواد شیمیایی مختلف را افزایش داده و بوسیله محدود نمودن تورم نواحی کریستالی، امکان ترکیب مجدد ساختار سلولز را فراهم می‌سازد. به‌علاوه با کاهش زاویه خمیدگی میکروفیبریل‌های سلولزی، استحکام الیاف را افزایش می‌دهد [۱۲و۱۳].

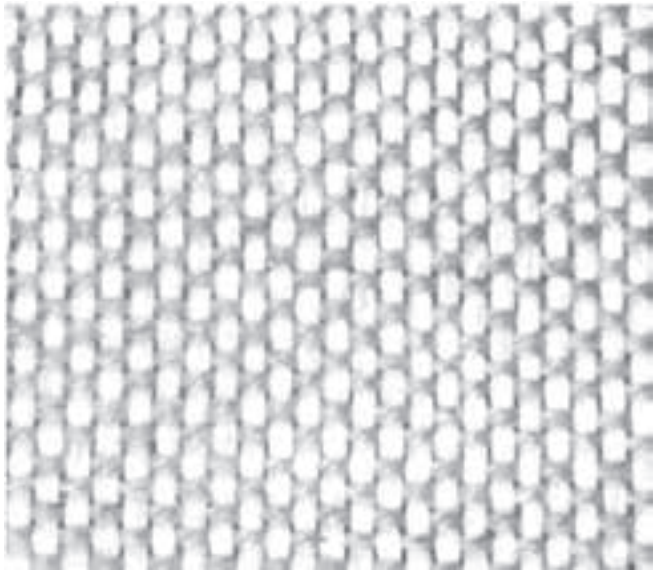
۵- کامپوزیت‌های هیبرید کنف- پلی‌استر /شیشه

در این تحقیق به بررسی رفتار مکانیکی کامپوزیت هیبریدی چندلایه و پارچه‌ای که به کمک الیاف طبیعی و مصنوعی تولید شده، پرداخته شده است. در صنایع کامپوزیت، الیاف شیشه و الیاف پلی‌استر به علت دسترسی آسان و خصوصیات مناسب مکانیکی، از پرکاربردترین انواع الیاف هستند. با این وجود، با هدف استفاده از مواد طبیعی و دوستدار محیط زیست در صنعت کامپوزیت، این الیاف با الیاف طبیعی مانند کنف ترکیب گردید که این الیاف به صورت تک جهته، الیاف کوتاه، همه جهته و پارچه‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌است.

۵-۱- ساخت و آماده‌سازی الیاف و نمونه‌های کامپوزیت

برای ساخت کامپوزیت مورد آزمون، از چیدمان چندلایه الیاف تک جهته و همچنین بافت پارچه‌ای استفاده شد و نمونه‌ها به صورت ترکیبی از الیاف کنف-پلی استر و کنف-شیشه ساخته شدند. برای بافت پارچه جنس نخ تار از کنف و نخ پود از پلی‌استر /شیشه بود و از دستگاه گلیم بافی سنتی با ماکو استفاده شد که دستگاه مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. نمونه پارچه بافته شده در شکل ۲ نمایش داده شده است.

شکل۱- دستگاه گلیم بافی سنتی مورد استفاده جهت بافت پارچه



شکل۲- طرح بافت ۱/۱ در پارچه هیبریدی

رفتار پارچه با توجه به خصوصیات مواد اولیه، تراکم نخ های تار و پود و شرایطی که نخها در لابلای هم قرار گرفته‌اند، متفاوت خواهد بود. الیاف کنف-شیشه/پلی استر با طول ۱۰ متر با قطرهای مشخص انتخاب شده و از طریق ترازوی دیجیتالی با دقت ۰۰۰۰۱/۰ کیلوگرم وزن گردید. اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری‌های جرم و چگالی این الیاف در جدول ۲ قید شده است.

جدول۲- داده‌های حاصل از اندازه‌گیری جرم و چگالی الیاف مورد استفاده در ساخت پارچه هیبریدی

خصوصیت‌فیزیکی	پلی‌استر	شیشه	کنف
وزن ۱۰ متر (گرم)	۱۰/۱۱	۲۸/۲۷	۹/۰۳
چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۴۴	۲/۵۵	۱/۳

از رزین با مشخصات ارائه شده در جدول ۳ و بر اساس استاندارد ASTM D4052 برای ساخت بستر پلیمری نمونه‌های کامپوزیتی استفاده شد. برای تهیه نمونه کامپوزیتی با مقاوم‌ساز پارچه‌ای، پارچه بر روی شیشه واکس خورده قرار گرفته و صاف شد. سپس رزین و سخت‌کننده (هاردنر) با یکدیگر مخلوط و تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شدند.

جدول۳- مشخصات رزین مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها

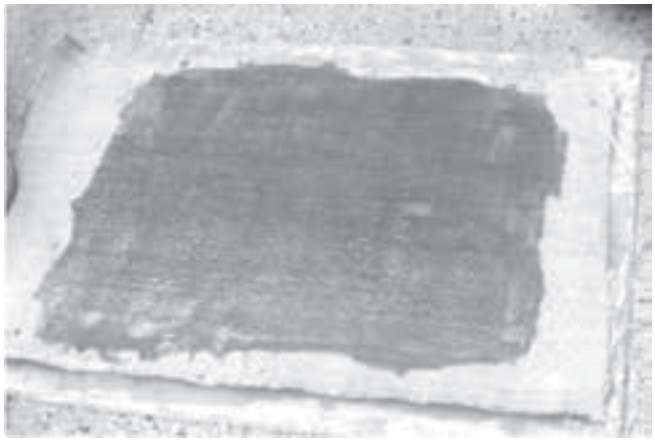
شرکت سازنده	نام تجاری محصول	کد هاردنر	چگالی رزین (kg/lit)	چگالی هاردنر (kg/lit)
SHELL	Epikote 828	F 205	۱/۱۶	۱/۰۴

رزین آماده شده با دقت در یکنواخت بودن ضخامت، بر روی پارچه ریخته شده و سپس با کمک ابزار کاملاً در تمام سطح و درون بافت پارچه نفوذ داده شد. در مرحله بعد، پارچه دیگری بر روی پارچه قبلی قرار داده شده و عملیات آغشته‌سازی مجدداً تکرار شده و به این ترتیب یک نمونه با مقاوم‌ساز پارچه‌ای دو لایه ساخته شد. لازم به ذکر است که به منظور تهیه نمونه‌هایی با کیفیت مناسب، در حین ساخت وزنه‌هایی بر روی قالب قرار داده شد. در نهایت پس از ۱۲ ساعت قالب باز شده و نمونه به صورت یک صفحه با ابعاد ۴۰ × ۵۰ سانتی‌متر بدست آمد. در شکل ۳ نحوه آغشته‌سازی پارچه با رزین نشان داده شده است.

برای انجام آزمایش‌های کشش و خمش از دستگاه اعمال نیرو با نام تجاری SANTAM STM150 و مشخصات ذکر شده در جدول ۴ استفاده شد. نمای کلی دستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول ٤- مشخصات دستگاه اعمال نیرو مورد استفاده در آزمایش

Model	Capacity (kgf)	R.O (kgf)	S/NG
DBBP-2t	2000	3.0	33615



شکل۳- نحوه آغشته‌سازی پارچه با رزین برای تولید نمونه‌های کامپوزیت

شکل٤- نمای کلی دستگاه اعمال بار برای انجام تست‌های کشش و خمش